悬铃木方翅网蝽生物学、化学生态学及防治研究进展

李峰奇[1,#], 付宁宁[2,#], 张连忠[3], 焦蒙蒙[1], 彭凌飞[4], 许奕华[1], 罗　晨[1,*]

(1. 北京市农林科学院植物保护环境保护研究所, 北京 100097;
2. 北京林业大学林木有害生物防治北京市重点实验室, 北京 100083;
3. 唐山师范学院生命科学系, 河北唐山 063000;
4. 福建农林大学植物保护学院, 闽台作物有害生物生态防控国家重点实验室, 福州 350002)

摘要: 悬铃木方翅网蝽 *Corythucha ciliata* 是一种入侵性害虫,专一性为害悬铃木属植物,导致寄主植物叶片褪绿变色、提前脱落,给园林绿化带来严重为害。该虫原产北美,20 世纪 60 年代传入欧洲,2002 年在我国湖南省首次发现,目前其分布范围已扩大到湖北、上海、山东、河南和北京等地,并在多地呈暴发态势。悬铃木方翅网蝽有较强的环境适应能力,对高温和低温均有较好耐性。近年来,有关悬铃木方翅网蝽信息素的研究逐渐引起人们的关注,部分生物活性分子和嗅觉分子机制已被解析,为制定该虫的生态防治措施提供了依据。本文综述了现阶段国内外有关悬铃木方翅网蝽生物学、危害特性、传播规律、化学生态学、环境适应性及其防治方法的研究进展,并从绿色防控方面展望了该虫需重点开展的研究方向,以期为该领域研究者提供参考。

关键词: 悬铃木方翅网蝽; 悬铃木; 入侵害虫; 生物学特性; 化学生态学; 生物防治

中图分类号: Q968　　**文献标识码:** A　　**文章编号:** 0454-6296(2018)09-1076-11

Advances in biology, chemical ecology and control of the sycamore lace bug, *Corythucha ciliata* (Hemiptera: Tingidae)

LI Feng-Qi[1,#], FU Ning-Ning[2,#], ZHANG Lian-Zhong[3], JIAO Meng-Meng[1], PENG Ling-Fei[4], XU Yi-Hua[1], LUO Chen[1,*] (1. Institute of Plant and Environment Protection, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China; 2. Beijing Key Laboratory for Forest Pest Control, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 3. Department of Life Science, Tangshan Normal University, Tangshan, Hebei 063000, China; 4. State Key Laboratory of Ecological Pest Control for Fujian and Taiwan Crops, College of Plant Protection, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350003, China)

Abstract: The sycamore lace bug, *Corythucha ciliata*, is an important invasive pest, obligately infesting *Platanus* spp. trees. This pest, a native species to North America, was introduced to Europe in 1960s. In China it was first found in Hunan province in 2002, and has spread to Hubei, Shanghai, Shandong, Henan and Beijing, causing heavy infestations. Researchers have found that the sycamore lace bug specifically damaged *Platanus* spp. trees, causing chlorotic or bronzed foliage and premature senescence of leaves. In addition, this pest has a high capacity to survive and adapt to high and low temperatures. In recent years, the research on pheromones of *C. ciliata* has gradually attracted people's attention. Many

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC1201200); 北京市农林科学院科技创新能力建设专项(KJCX20170709)

作者简介: 李峰奇, 男, 1982 年 5 月生, 河南新乡人, 博士, 助理研究员, 研究方向为化学生态学, E-mail: pandit@163.com; 付宁宁, 女, 1992 年 6 月生, 河北沧州人, 硕士研究生, 研究方向为化学生态学, E-mail: funingning2012@sina.com

[#]共同第一作者 Authors with equal contribution

[*]通讯作者 Corresponding author, E-mail: luochen1010@126.com

收稿日期 Received: 2017-09-08; 接受日期 Accepted: 2018-07-18

bioactive molecules and genes associated have been identified, providing a basis for ecological control of this pest. In this article, we reviewed the research progresses of this species, focusing on its biology, damage characteristics, propagation patterns, chemical ecology, environmental adaptability, and prevention and control methods, and brought forward the future research directions of development of integrated pest management technologies for managing this pest so as to provide a reference for researchers in this field.

Key words: *Corythucha ciliata*; *Platanus* spp.; invasive pest; biological characteristics; chemical ecology; biocontrol

悬铃木在我国属引进栽培种，包括一球悬铃木 *Platanus occidentalis*，二球悬铃木 *P. acerifolia* 和三球悬铃木 *P. orientalis* 3 个种。其中，三球悬铃木早在晋代即已引种到我国陕西（张宏达和颜素珠，1979；虞国跃等，2014）；二球悬铃木在我国各地栽培广泛，享有“行道树之王”的美誉。悬铃木方翅网蝽 *Corythucha ciliata* 是危害悬铃木的重要害虫，属半翅目（Hemiptera）网蝽科（Tingidae）方翅网蝽属 *Corythucha*。该虫刺吸悬铃木属 *Platanus* spp. 植物的叶片，影响光合作用，致使叶片发黄、脱落，严重危害树木生长。

悬铃木方翅网蝽原产北美中东部地区（Halbert and Meeker，1983），2002 年在我国长沙首次发现悬铃木方翅网蝽（Streito，2006；鞠瑞亭和李博，2010），2006 年该虫在武汉普遍发生（李传仁等，2008；王福莲等，2008）。国家林业局随即将其增列入我国林业危险性有害生物名单。2007 年 3 月，国家林业局公布其为中度危险性林业有害生物。鉴于该虫的快速入侵和传播，国内外学者对其生物学、危害特性、扩散规律、化学生态学、环境适应性及其防治方法等方面开展了一系列研究工作，并取得了一定的进展。本文对这些研究进行了综述，以期为悬铃木方翅网蝽的可持续防控和相关机制研究提供一定的参考依据。

1　生物学和危害特性

1.1　生物学特性

悬铃木方翅网蝽在不同地区的世代数不尽相同。在美国、意大利和日本等地一年发生 2～3 代（Prado，1990；Halbert and Meeker，1998；王福莲等，2008）。越冬成虫于翌年春季开始活动，在 4 月底 5 月初，随着气温变暖（8～10℃），悬铃木方翅网蝽开始为害，如遇气温突降，会转移至树皮下，当温度高于 10℃ 时再转移至树冠为害。约 1 周后产卵，并可持续至 6 月（Kükedi，2000）。各代成虫为害的高峰期分别在 7 月初、8 月初和 9 月中旬。9 月初开始越冬，主要以成虫群集形式在悬铃木主干和支干的树皮下越冬（图 1），也可在墙壁缝隙或落叶绿篱上越冬（Maceljski and Balarin，1972；Venturi，1974；Halbert and Meeker，1998）。调查发现，该虫对越冬所处树木部位也有一定的偏爱，倾向于在树干基部（11～16 m 树的基部为 4.8 m）以及东北和西北方位的树皮下越冬（Vasic，1975；Battisti *et al.*，1985）。在北京地区该虫主要在树干下部越冬，而在我国南方地区，虽然该虫在树干下部越冬的虫数明显高于上部，但在树干上部该虫也能成功越冬（夏文胜等，2011）。此外，悬铃木方翅网蝽更倾向于在较大树围的植株上、较大面积的翘皮下越冬（吴翔等，2010）。

1.2　寄主范围

悬铃木方翅网蝽主要危害悬铃木属植物（Wade，1917；Halbert and Meeker，1998），Oszi 等（2005）研究发现，该虫也可危害构树、白蜡木和山核桃属植物。鞠瑞亭等（2010b）选用 19 科 27 种园林植物对悬铃木方翅网蝽的寄主专一性进行了测定，结果表明该虫只在一球悬铃木、二球悬铃木和三球悬铃木 3 种植物上才能有完整世代，而在红叶李 *Prunus cerasifera*、构树 *Broussonetia papyrifera* 和红花槭 *Acer rubrum* 3 种植物上只取食不产卵。安红柳等（2011）测定了悬铃木方翅网蝽在二球悬铃木、构树、板栗和杜鹃 4 种植物上的取食、发育和产卵的情况，证实了构树、板栗和杜鹃不是悬铃木方翅网蝽的寄主植物，也进一步证明了悬铃木方翅网蝽寄主的专一性。

方翅网蝽属 *Corythucha* 昆虫在中国没有本地种，该属的菊方翅网蝽 *C. marmorat* 是另一种入侵中国的外来物种（虞国跃，2014）。除了菊方翅网蝽，悬铃木方翅网蝽的近缘种包括佛罗里达橡树网蝽 *C. floridana* 和棉花网蝽 *C. gossypii*。在这些种

里，只有悬铃木方翅网蝽能危害悬铃木属植物（Drake and Ruhoff, 1965）。因此可借助其寄主专一性特点对悬铃木方翅网蝽进行初步鉴定。

1.3 危害特性

悬铃木方翅网蝽通常在悬铃木叶片背面刺吸汁液为害，取食初期会使叶片出现白色斑点，进而造成叶片褪绿（图 2）。该虫的为害能减弱叶片光合作用，导致叶片光合速率、气孔导度、蒸腾速率、叶绿体色素和可溶性糖等生理生化指标下降（鞠瑞亭等, 2010a）。高密度种群严重为害时，可导致悬铃木叶片变黄，提前脱落，造成树势衰弱甚至死亡（Barnard and Dixon, 1983）。此外，该虫还能传播真菌病害悬铃木叶枯病菌 *Gnomonia platani* 和甘薯长喙壳菌 *Ceratocystis fimbriata*，共同对寄主造成危害（Prado,

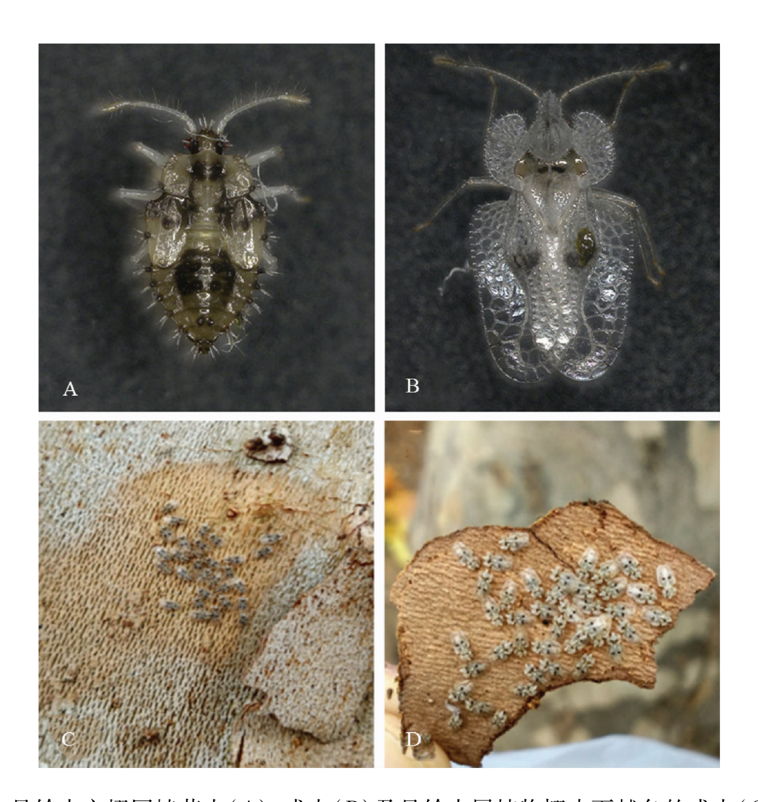


图 1 悬铃木方翅网蝽若虫（A）、成虫（B）及悬铃木属植物翘皮下越冬的成虫（C, D）

Fig. 1 Nymph (A), adult (B) and overwintering adults of *Corythucha ciliata* under the bark of *Platanus* spp. (C, D)

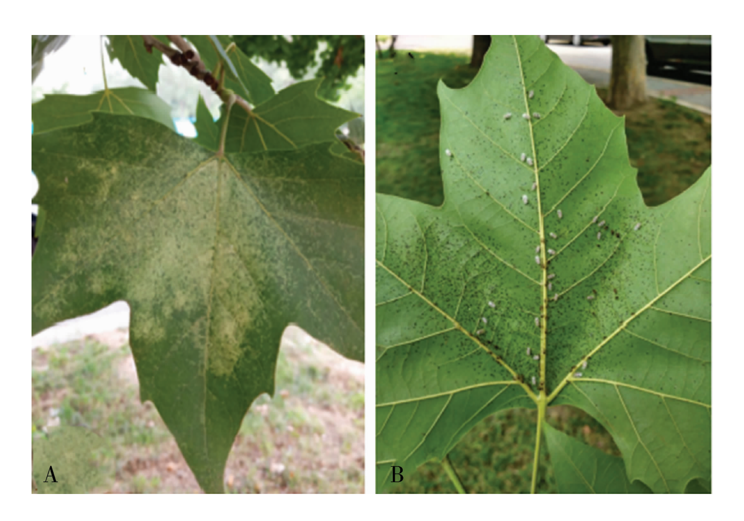


图 2 悬铃木方翅网蝽在悬铃木叶片的为害状

Fig. 2 Damage of *Corythucha ciliata* on the leaf of *Platanus* spp.

A：叶面 Leaf upperside；B：叶背 Leaf underside.

1990）。还有研究发现，相较于湿润环境和野外条件，悬铃木方翅网蝽在干旱和城市中的危害相对加重（Filer *et al.*，1977；蒋金炜和丁识伯，2008）。当该虫种群密度大时还会滋扰居民生活，叮咬人类皮肤产生红色斑疹，对人体造成危害（Izri *et al.*，2015）。

2　扩散传播与遗传多样性

2.1　扩散传播历史

悬铃木方翅网蝽是美国和加拿大的本地种，但该虫在这些地区的危害并不严重（Ash，1953；Venturi，1974）。其入侵欧洲后，传播速度极快，现已广泛分布于欧洲各地，成为危害严重的物种。据文献记载，该虫在欧洲的传播过程为：1964 年传入意大利，随后传至克罗地亚（1970）、斯洛文尼亚（1972）、塞尔维亚（1973）、法国（1975）、瑞士（1975）、匈牙利（1976）、西班牙（1980）、澳大利亚（1982）、希腊（1988）和保加利亚（1990）等地，并为害当地的悬铃木属植物（Maceljski and Balarin，1972；Tzanakakis，1988；Ĭosifov，1990）。而后该虫继续在欧洲快速蔓延，传至德国（1992）、葡萄牙（1994）、捷克（1995）、俄罗斯（1996）、乌克兰（2004）、英国（2006）、土耳其（2007）和罗马尼亚（2011）等（Nikusch，1992；Stehl，1997；Voigt，2001；Gninenko and Orlinskii，2004；Malumphy and Reid，2006；Kment，2007；Grossosilva and Aguiar，2007；Mutun，2009；Tatu and Tausan，2011）。

除欧洲地区外，1990 年在智利也发现了悬铃木方翅网蝽为害（Kment，2007）；在亚洲地区，该虫首先于 1995 年在韩国被发现，2001 年传至日本（Tokihiro *et al.*，2003），并在两年内迅速扩散到日本东京、松山和北九州等多个城市。此外，该虫于 2015 年入侵至非洲地区（Picker and Griffiths，2015）。

在我国，最初在长沙和武汉发现了悬铃木方翅网蝽为害，随后该虫迅速扩展至上海、浙江、贵州、重庆、江苏、安徽、河南、山东和北京等地区（Streito，2006；李传仁等，2007；王福莲等，2008；Ju *et al.*，2009；鞠瑞亭和李博，2010；虞国跃等，2014）。根据生态位模型预测，悬铃木在我国分布的大部分地区均是该虫的适宜分布区。另外，河北中部和南部、山东东部等地均是其潜在为害区（朱耿平等，2013）。

2.2　传播途径和传播机制

悬铃木方翅网蝽能通过飞行或爬行进行短距离扩散，并能借助风力实现中等距离传播。多数学者认为人类活动是该虫长距离传播的主要途径，如附着在衣服、交通工具上进行传播，或随悬铃木植物移栽而传播。悬铃木作为行道树树种被广泛种植于各地街道和公园，为该虫的传播提供了便利。

对于悬铃木方翅网蝽的飞行能力，国内外学者存在两种不同的说法。Wade（1917）指出该虫的翅较脆弱，使得其飞行能力较弱。而 Maceljski（1986）认为该虫善于飞行，具有较强的飞行能力。有研究发现其成虫一天能飞行 27 m（Wu and Liu，2016）。对于悬铃木方翅网蝽的飞行能力，还需继续开展更多深入研究，以明确其实际的飞行和活动能力。

2.3　遗传多样性

悬铃木方翅网蝽的传播速度极快，致使其发生范围较为广泛。为了解其地理种群分化情况，深入理解该虫入侵传播的遗传机制，国内学者对其群体遗传学进行了研究。Yang 等（2013）测定了悬铃木方翅网蝽的线粒体基因组，共 15 257 个碱基，包含 13 个蛋白编码基因，22 个 tRNA 基因，2 个 rRNA 基因，共 37 个基因和一个大的非编码区。悬铃木方翅网蝽的线粒体基因组与臭虫次目中的其他 6 个种的线粒体基因组相比，在基因排列、核酸含量、密码子使用、氨基酸成分和不对称性等方面均高度保守。Yang 等（2014）通过 FLASCO 方法开发了悬铃木方翅网蝽 9 个多态性微卫星标记，并用这些标记对我国贵阳和南京两个地区的悬铃木方翅网蝽自然种群开展了多态性评估，进一步利用 3 个线粒体基因（*COI*，*NO*1 和 *ND*5）和这 9 个微卫星标记分析了悬铃木方翅网蝽在我国的种群结构（Yang *et al.*，2017），发现悬铃木方翅网蝽在我国的种群遗传多样性显著低于欧洲，这可能是由物种入侵时降低了遗传多样性所致（Baker *et al.*，2003）。

3　化学生态学

目前，悬铃木方翅网蝽若虫的报警信息素已经被鉴定，成分为香叶醇（geraniol）（Kuwahara *et al.*，2011）。悬铃木方翅网蝽若虫腹部刚毛的分泌物也被报道，其主要成分为 3，6-dihydroxy-2-[1-oxo-10（*E*）-tetra-decenyl] cyclohex-2-en-1-one，如表 1 所示。这些化学物质在该虫防御中发挥重要作用（Lusby *et al.*，1987）。

表 1 已报道的悬铃木方翅网蝽信息素物质

Table 1 The reported pheromones in *Corythucha ciliata*

信息素 Pheromone	类型 Type	对行为的影响 Effect on the behavior	参考文献 References
香叶醇 Geraniol	报警信息素 Alarm pheromone	驱避 Repel	Kuwahara *et al*., 2011
顺-3-己烯醇 *Cis*-3-Hexen-1-ol	寄主挥发物 Host volatiles	吸引 Attract	李峰奇等, 2017
(*E*)-β-石竹烯(*E*)-β-Caryophyllene	寄主挥发物 Host volatiles	驱避 Repel	李峰奇等, 2017
1,8-桉叶素 1,8-Cineole	寄主挥发物 Host volatiles	吸引 Attract	李峰奇等, 2017
3,6-Dihydroxy-2-[1-oxo-10(*E*)-tetra-decenyl] cyclohex-2-en-1-one	悬铃木方翅网蝽若虫腹部刚毛分泌物 Abdominal bristle secretions of nymph	活性未测定 Activity not determined	Lusby *et al*., 1987
苯甲酸苯酯 Phenyl benzoate	报警信息素类似物 Alarm pheromone analogue	驱避 Repel	Li *et al*., 2018

为更好地制定生态防治措施,李峰奇等(2017)测定了悬铃木方翅网蝽寄主植物二球悬铃木叶片的挥发物组分,发现顺-3-己烯醇、1,8-桉叶素、(*E*)-4,8-二甲基-1,3,7-壬三烯和反式-β-石竹烯等 4 种挥发性化合物在被该虫为害后显著增加。进一步用 Y 型嗅觉仪开展行为学实验,发现顺-3-己烯醇(0.1 和 1.0 μg)和 1,8-桉叶素(0.1, 1.0 和 10 μg)对悬铃木方翅网蝽均有显著吸引作用,反-β-石竹烯(0.1, 1.0 和 10 μg)对该虫具有显著驱避作用($P<0.05$)。这些挥发物能显著调控该虫行为,可能在悬铃木方翅网蝽的寄主定位中发挥重要作用,也可能参与了悬铃木植物的间接防御反应。

在嗅觉分子机制方面,付宁宁等(2017)报道了悬铃木方翅网蝽的第一个化学感受蛋白(chemosensory protein, CSP)编码基因 *CcilCSP*1, *CcilCSP*1 在成虫中显著高表达且在雄成虫中的表达量显著高于雌成虫。用分子对接和分子动力学模拟技术发现 CcilCSP1 能与二球悬铃木寄主挥发物成分反-β-石竹烯稳定结合。Li 等(2018)研究发现 CcilCSP2 能特异结合该虫的报警信息素香叶醇,并发现苯甲酸苯酯具有和香叶醇相同的行为调控活性。这些研究为悬铃木方翅网蝽的嗅觉编码机制研究奠定了基础,也为基于计算模拟反向筛选该虫的信息素物质提供了探索。目前,虽然在该虫识别报警信息素和寄主挥发物方面取得一定的研究进展,但该虫的性信息素物质尚未见报道。应进一步加强悬铃木方翅网蝽性信息素的研究,以期开发高效昆虫行为调控剂,应用于该虫的防治。

此外,Li 等(2016)公布了悬铃木方翅网蝽不同发育阶段的转录组,鉴定出 60 879 条基因序列,并整理了与嗅觉、蜕皮、消化和免疫相关的表达差异基因,为其进一步化学生态学和其他分子生物学研究提供了基础。

4 胁迫适应性

4.1 高温耐性

Ju 等(2013)在室内条件下测定了悬铃木方翅网蝽的生存和繁殖指标,发现该虫有较强内禀增长力,且能忍耐 41℃ 的高温。据此可知,悬铃木方翅网蝽具有优异的高温耐性,这种较强的高温适应性是该虫在我国南部各省快速传播的因素之一。同时,全球气候变化的大背景也促进了悬铃木方翅网蝽在中国低纬度地区的扩展传播,进一步加重了其对悬铃木植物的危害(Ju *et al*., 2015)。悬铃木方翅网蝽的高温耐性机制研究表明:在生理学方面,该虫可依靠自身的快速热适应能力,提高耐热性(Ju *et al*., 2011a);在代谢方面,高温胁迫后悬铃木方翅网蝽成虫体内的抗氧化代谢能力显著升高(Ju *et al*., 2014),这些生理代谢因素协同影响了悬铃木方翅网蝽对于高温的适应能力;在分子生物学方面,热激蛋白 HSP70 在该虫的高温耐性中起着重要的作用(Ju *et al*., 2017)。

4.2 低温耐性

悬铃木方翅网蝽也具有一定的耐寒性。成虫越冬时,其在树皮下能耐受 -10℃ 的低温(Wade, 1917; Gillespie, 2007),也有报道称该虫在树皮的保护下能忍受的温度低至 -30℃(Malumphy, 2007)。国内学者研究发现,悬铃木方翅网蝽雌成虫的过冷却点显著低于雄成虫,雌、雄成虫的平均过冷却点分别为 -11.49℃ 和 -9.54℃。此外,通过对湖北荆州和河南郑州两个地理种群的过冷却点测试,发现成虫的过冷却点与龄期和所处地域有着密切联系。进一步研究发现,悬铃木方翅网蝽还具有

快速低温应激能力。该虫经过冷处理后，能获得零下低温容忍能力。经测试，悬铃木方翅网蝽成功越冬的关键点为 −8℃左右（Ju *et al.*，2010）。悬铃木方翅网蝽的这种快速低温适应机制保障了其在中国北部和东部地区冬期和春初寒冷气候下的存活（Ju *et al.*，2011b）。

悬铃木方翅网蝽在北京地区以成虫（雄虫和雌虫）休眠的形式进行越冬。在 −26℃ ~ −15℃的野外低温条件下，其存活率仍达 50%。该虫在越冬休眠状态和非越冬生理状态下的转录谱比较共检测到 149 个基因在越冬成虫中显著上调，337 个基因显著下调。其中，上调表达较明显的基因包括：热激蛋白基因、免疫相关基因和 NAD 依赖脱乙酰基酶基因等。这些表达上调的基因显著富集于剪切体通路。这一结果暗示悬铃木方翅网蝽的越冬与基因的可变剪切密切相关。在代谢层面，经代谢组学分析发现 12 种代谢物的含量在休眠的成虫中显著升高，这些代谢物包括海藻糖、甘油和丙氨酸等。综合转录组数据和代谢物分析，发现该虫在越冬时糖酵解和三羧酸循环均受到了显著抑制（Li *et al.*，2017）。

上述研究表明，悬铃木方翅网蝽具有较强的高低温耐性。此外，悬铃木方翅网蝽还有较强的抗饥饿能力（Wu *et al.*，2016），对环境有很强的适应能力。悬铃木方翅网蝽能够成功入侵到不同温度区域的多地区，并大肆为害，这与它们的这些环境适应能力密切相关。这些适应性在其生长繁殖、越冬和地理分布上起着重要的作用。根据该虫对环境的强适应性，可以推知，我国有悬铃木种植的地区，都是悬铃木方翅网蝽的分布区或潜在分布区，需要加强对该虫的监测和防控。

5　防治方法

悬铃木是世界著名的庭荫树和行道树，被广泛应用于城市绿化。我国多个省份以此树作为绿化用树，悬铃木方翅网蝽的蔓延，将对我国悬铃木的生长造成严重威胁。因此，对该虫防控技术的研究尤为重要。目前，针对悬铃木方翅网蝽的综合防治措施主要有园艺防治、化学防治和生物防治等。

5.1　物理防治

悬铃木方翅网蝽主要聚集在树皮下或落叶中越冬，冬季时清除枯枝落叶，刮除一级分叉枝和主干枝上的疏松树皮层可以销毁越冬成虫。次年春季，对悬铃木进行春季剥芽也可以减少虫源。到夏季时，结合悬铃木的剥芽修剪和疏枝修剪，重点清除有虫枝梢和叶片，并销毁修剪的枝叶进而压缩虫口密度。根据我们的观察，在北京地区也可以利用其上下树的习性，用粘胶的方法进行防治。

5.2　化学防治

在悬铃木方翅网蝽为害的高峰期，以化学防治为主。国内外科研人员已对悬铃木方翅网蝽的施药方式和药剂种类展开了相关研究。较常用的施药方式是树冠喷洒，用该方法在实验室条件下发现，溴氰菊酯和吡虫啉对悬铃木方翅网蝽具有 89% 以上的杀虫活性（Rojht *et al.*，2009）。在野外喷药条件下，杀扑磷、噻虫嗪、啶虫脒、丁硫克百威、甲氨基阿维菌素、吡虫啉和阿克泰的防效均在 70% 以上（刘超等，2010；陈根宝等，2011；高志洁，2011）。此外，氯氰菊酯、噻虫嗪和阿维菌素对越冬的悬铃木方翅网蝽均有 70% 以上的防治效果（李新扬等，2014）。目前，较常用的树冠喷洒方法有烟剂和飞机喷洒（王梅林等，2010；马来顺等，2014），但这些方法对环境的污染较大，不适合大面积使用。

另一种相对污染较小的方法是树干注射法，利用常用的低毒杀虫剂进行树干注射或灌根防治悬铃木方翅网蝽均具有良好效果。刘超等（2011）研究发现，乙酰甲胺磷和吡虫啉进行树干注射或灌根施药的防效都在 90% 以上。张华等（2014）研究发现，3% 高渗苯氧威乳油、敌畏氧乐果、吡虫啉 + 阿维菌素以及吡虫啉 + 阿克泰混剂的防效在 80% 以上。此外，使用杀虫剂和杀菌剂（如乙酰甲胺磷和涕必灵）混合枝干注射，可同时防控悬铃木方翅网蝽及其传播的悬铃木叶枯病菌 *Gnomonia platani*（Tiberi and Arzone，1985；Zechini D'Aulerio *et al.*，1990）。

通过树冠喷雾、注干等方法还筛选出一些生物源杀虫剂，包括阿维菌素、苦参碱、烟碱（纪锐等，2010）、印楝素（Zaitsev *et al.*，1994）、侧柏酮和迷迭香精油（Rojht *et al.*，2009）等，这些生物类药剂对于悬铃木方翅网蝽也有良好防效。

5.3　生物防治

悬铃木方翅网蝽的生物防治主要是利用天敌性生物降低卵、若虫或成虫的数量。其天敌包括蛛形目、半翅目、膜翅目和脉翅目等捕食性天敌（Maceljski and Balarin，1977，1978；Korn *et al.*，1983；Tavella and Arzone，1987）。此外，缨小蜂科寄生蜂可寄生该虫的卵（Korn *et al.*，1983）。一些寄生性的病菌和寄生昆虫的线虫对悬铃木方翅网蝽也有一定的寄生性（Shapiro-Ilan *et al.*，2012；Sevim

et al., 2013)。斯氏属昆虫寄生线虫和草蛉 *Chrysoperla lucasina* 结合使用,也有一定的防控效果(Verfaille *et al*., 2012)。作者在北京地区发现,该虫可被白僵菌寄生,但寄生率低,作用不明显。这可能是悬铃木树皮下湿度太低所致。悬铃木方翅网蝽还有一些其他的捕食性和寄生性天敌,具体见表 2。

表 2 悬铃木方翅网蝽的一些天敌

Table 2 Natural enemies of *Corythucha ciliata*

天敌 Natural enemies	类型 Type	侵染阶段 Stage of infection	在我国是否存在 Presence in China
月形希蛛 *Achaearanea lunata*	捕食 Prey	成虫/若虫 Adult/Nymph	是 Yes
蜘蛛 *Cheiracanthium mildei*	捕食 Prey	成虫/若虫 Adult/Nymph	是 Yes
三突花蛛 *Ebrechtella tricuspidata*	捕食 Prey	成虫/若虫 Adult/Nymph	是 Yes
星豹蛛 *Pardosa astrigera*	捕食 Prey	成虫/若虫 Adult/Nymph	是 Yes
斜纹猫蛛 *Oxyopes sertatus*	捕食 Prey	成虫/若虫 Adult/Nymph	是 Yes
黄褐狡蛛 *Dolomedes sulfureus*	捕食 Prey	成虫/若虫 Adult/Nymph	是 Yes
小黑花蝽 *Anthocoris nemoralis*	捕食 Prey	成虫/若虫 Adult/Nymph	否 No
黄条食蚜盲蝽 *Deraeocoris flavilinea*	捕食 Prey	成虫/若虫 Adult/Nymph	否 No
淡须齿爪盲蝽 *Deraeocoris lutescens*	捕食 Prey	成虫/若虫 Adult/Nymph	是 Yes
阿姬蝽 *Aptus mirmicoides*	捕食 Prey	成虫/若虫 Adult/Nymph	是 Yes
拟原姬蝽 *Nabis pseudoferus*	捕食 Prey	成虫/若虫 Adult/Nymph	否 No
花蝽 *Orius insidiosus*	捕食 Prey	成虫/若虫 Adult/Nymph	是 Yes
邻小花蝽 *Orius vicinus*	捕食 Prey	成虫/若虫 Adult/Nymph	是 Yes
齿爪盲蝽 *Deraeocoris nebulosus*	捕食 Prey	成虫/若虫 Adult/Nymph	否 No
Rhinocoris iracundus	捕食 Prey	成虫/若虫 Adult/Nymph	否 No
南亚大眼长蝽 *Geocoris ochropterus*	捕食 Prey	成虫/若虫 Adult/Nymph	是 Yes
荷氏小花蝽 *Orius horvathi*	捕食 Prey	成虫/若虫 Adult/Nymph	否 No
小花蝽 *Orius majusculus*	捕食 Prey	成虫/若虫 Adult/Nymph	否 No
薄翅螳螂 *Mantis religiosa*	捕食 Prey	成虫/若虫 Adult/Nymph	否 No
宽翅树蟋 *Oecanthus pellucens*	捕食 Prey	成虫/若虫 Adult/Nymph	是 Yes
日本通草蛉 *Chrysoperla nipponensis*	捕食 Prey	成虫/若虫 Adult/Nymph	是 Yes
草蛉 *Chrysoperla carnea*	捕食 Prey	成虫/若虫 Adult/Nymph	是 Yes
红通草蛉 *Chrysoperla rufilabris*	捕食 Prey	成虫/若虫 Adult/Nymph	是 Yes
史氏盘腹蚁 *Aphaenogaster smythiesi*	捕食 Prey	成虫/若虫 Adult/Nymph	是 Yes
烟草赤星病菌 *Alternaria alternata*	病菌 Germ	成虫/若虫 Adult/Nymph	是 Yes
粉拟青霉 *Paecilomyces farinosus*	病菌 Germ	成虫/若虫 Adult/Nymph	是 Yes
球孢白僵菌 *Beauveria bassiana*	病菌 Germ	成虫/若虫 Adult/Nymph	是 Yes
蜡蚧轮枝菌 *Verticillium lecanii*	病菌 Germ	成虫/若虫 Adult/Nymph	是 Yes
尖孢镰刀菌 *Fusarium oxysporum*	病菌 Germ	成虫/若虫 Adult/Nymph	是 Yes
蜡蚧轮枝菌 *Lecanicillium lecanii*	病菌 Germ	成虫/若虫 Adult/Nymph	是 Yes
冻土毛霉 *Mucor hiemalis*	病菌 Germ	成虫/若虫 Adult/Nymph	否 No
桔青霉 *Penicillium citrinum*	病菌 Germ	成虫/若虫 Adult/Nymph	否 No
异小杆线虫 *Heterorhabditis indica*	寄生 Parasitism	成虫/若虫 Adult/Nymph	是 Yes
H. bacteriophora	寄生 Parasitism	成虫/若虫 Adult/Nymph	否 No
H. georgiana	寄生 Parasitism	成虫/若虫 Adult/Nymph	否 No
Steinernema riobrave	寄生 Parasitism	成虫/若虫 Adult/Nymph	否 No
Beauveria bassiana	寄生 Parasitism	成虫/若虫 Adult/Nymph	是 Yes

总体来说,应用天敌防治悬铃木方翅网蝽仍有不足之处,这主要体现在天敌对该虫种群的自然抑制作用明显不足。具体限制因素包括:一方面,捕食性天敌的发生与该虫缺乏同步性,其田间控制能力欠缺(Tavella and Arzone, 1987)。即使能攻击该虫卵的寄生蜂,也不能明显减少其种群数量(d'Aguilar, 1982)。另一方面,虽然病原菌对于越冬悬铃木方翅网蝽成虫的控制有一定的应用潜力(Ozino and Zeppa, 1987),但病原菌对高湿度的要求与该蝽喜干燥的特性相矛盾,导致二者存在时空上的错位,因此其在夏季的防治效果不佳(Girolami and Battisti, 1979)。即使在原产地美国,当前发现的该虫寄生昆虫和病原菌,也不足以遏止其对城市悬铃木的危害。因此,在今后的研究工作中,应加强对该虫优势天敌的研究,同时探索天敌昆虫的扩繁和应用技术,以解决天敌作用不足的难题。

6 小结与展望

入侵害虫悬铃木方翅网蝽刺吸为害悬铃木叶片,可造成树叶提前脱落,影响植物生长。该虫对极端环境具有较强的耐受性,且天敌对其控制效果微弱,一旦入侵便具有严重的危险性。因此应进一步加强其发生规律、入侵机制和防控技术等方面的研究。在发生规律方面,应加强新入侵地区发生为害监测,因地制宜的制定防控策略,减缓该虫的进一步扩散。在入侵机制方面,应对其耐高温机制、抗饥饿机制等方面进行深入研究,进一步揭示其环境适应的特征和内在机制,加深对该虫入侵传播机制的认识。在防控技术方面:首先,建议把该虫列入我国检疫性有害生物名录,严格按照植物检疫的规定,限制从悬铃木方翅网蝽的疫区引种调入悬铃木苗木,以避免该虫的快速扩散。其次,虽有研究结果表明化学农药对该虫有一定的防效,但未能大范围应用,应加强这些药剂的应用推广和抗药性监测等工作。目前悬铃木方翅网蝽的序列资源已经公开,发育、消化和蜕皮相关的关键基因也已经被鉴定报道(Li *et al.*, 2016),这为将来通过 RNA 干扰和基因编辑等现代分子生物学技术防控该虫提供了基因靶标。

参考文献(References)

An HL, Qiu GQ, Li CR, 2011. Evaluation of suitability of several plants to invasive pest, sycamore lace bug, *Corythucha ciliata* (Say). *Plant Quar.*, 25(2): 54-56. [安红柳, 邱国强, 李传仁, 2011. 几种植物对入侵害虫悬铃木方翅网蝽的适合性评价. 植物检疫, 25(2): 54-56]

Ash CR, 1953. Tingoidea (Hemiptera) of Tippecanoe County, Indiana. *Proc. Ind. Acad. Sci.*, 63: 185.

Baker DA, Loxdale HD, Edwards OR, 2003. Genetic variation and founder effects in the parasitoid wasp, *Diaeretiella rapae* (M'intosh) (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiidae), affecting its potential as a biological control agent. *Mol. Ecol.*, 12(12): 3303-3311.

Barnard EL, Dixon WN, 1983. Insects and diseases: important problems of Florida's forest and shade tree resources. Florida Department of Agriculture and Consumer Services, Division of Forestry, No. 196-A.

Battisti R, Forti A, Zangheri S, 1985. Research on biology of sycamore lace bug *Corythucha ciliata* (Say) (Rhynchota Tingidae) in the Veneto region. *Frus. Entomol.*, 7(8): 125-141.

Chen GB, Wang F, Feng CJ, Ju RT, 2011. Insecticide efficacy testing of six insecticides on *Corythucha ciliata*. *Jiangsu Agric. Sci.*, 39(3): 125-128. [陈根宝, 王凤, 冯丛经, 鞠瑞亭, 2011. 6 种药剂防治悬铃木方翅网蝽的药效试验. 江苏农业科学, 39(3): 125-128]

d'Aguilar J, 1982. The plane tiger. *J. Phytoma.*, 336: 30.

Drake CJ, Ruhoff FA, 1965. Lacebugs of the world: a catalog (Hemiptera: Tingidae). *U. S. Nat. Hist. Mus. Bull.*, 243: 1-634.

Filer TH, Solomon JD, Mccracken FI, Oliveria FL, Lewis R, Weiss MJ, Rogers TJ, 1977. Sycamore [*Platanus occidentalis*] pests: a guide to major insects, diseases, and air pollution. USDA Forest Service, Atlanta, Ga. 36.

Fu NN, Liu J, Qu C, Wang R, Xu YH, Luo C, Li FQ, 2017. Structural analysis of *Corythucha ciliata* CcilCSP1 and predictive binding to the host-plant volatiles. *Sci. Silv. Sin.*, 53(10): 109-117. [付宁宁, 刘佳, 渠成, 王然, 许奕华, 罗晨, 李峰奇, 2017. 悬铃木方翅网蝽化学感受蛋白 CcilCSP1 的结构及其结合寄主挥发物的预测分析. 林业科学, 53(10): 109-117]

Gao ZJ, 2011. Comparison of the effect of trunk punching injection and canopy spray on *Corythucha ciliata*. *J. Zhejiang Agric. Sci.*, (6): 1380-1382. [高志洁, 2011. 树干打孔注药与树冠喷雾对悬铃木方翅网蝽防治效果比较. 浙江农业科学, (6): 1380-1382]

Gillespie PS, 2007. Sycamore Lace Bug. Primefact 361. New South Wales Department of Primary Industries, Orange, Australia. 3 pp.

Girolami V, Battisti RD, 1979. Observations on *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuill, a pathogen of *Corythucha ciliata* (Say). *Ital. Forest. Mon.*, 34(1): 19-27.

Gninenko YI, Orlinskii AD, 2004. New insect pests of forest plantations. *Zash. Kar. Ras.*, 4: 33.

Grossosilva JM, Aguiar A, 2007. *Corythucha ciliata* (Say, 1832) (Hemiptera, Tingidae), the nearctic Sycamore lace bug, found in Portugal. *Bol. Soc. Entomol. Arag.*, 40: 366.

Halbert SE, Meeker JR, 1983. The sycamore lace bug, *Corythucha ciliata* (Say) (Hemiptera: Tingidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 76(2): 262-265.

Ĭosifov M, 1990. On the occurrence of the Nearctic species *Corythucha ciliata* (Say, 1832) (Heteroptera Tingidae) in Bulgaria. *Acta*

Zool. Bulgar., 39: 53 – 56.

Izri A, Andriantsoanirina V, Chosidow O, Durand R, 2015. Dermatosis caused by blood-sucking *Corythucha ciliata*. *Jama. Dermatol*., 151 (8): 909.

Ji R, Xiao YT, Luo F, Yuan HH, Zhou GX, Fan LJ, Lou YG, 2010. Efficacy tests of nine kinds of pesticides for controlling *Corythucha ciliata*. *Chin. Bull. Entomol*., 47(3): 543 – 546. [纪锐, 肖玉涛, 骆芳, 袁海宏, 周国鑫, 樊丽娟, 娄永根, 2010. 九种药剂防治悬铃木方翅网蝽的药效试验. 昆虫知识, 47(3): 543 – 546]

Jiang JW, Ding SB, 2008. Occurrence and harm of the invasive pests *Corythucha ciliata* (Hemiptera: Tingidae). *Plant Quar*., 22(6): 374 – 376. [蒋金炜, 丁识伯, 2008. 外来害虫悬铃木方翅网蝽的发生与危害. 植物检疫, 22(6): 374 – 376]

Ju RT, Wang F, Xiao YY, Li B, 2010. Supercooling capacity and cold hardiness of the adults of the sycamore lace bug, *Corythucha ciliata* (Hemiptera: Tingidae). *CryoLetters*, 31(6): 445 – 453.

Ju RT, Chen GB, Wang F, Li B, 2011a. Effects of heat shock, heat exposure pattern, and heat hardening on survival of the sycamore lace bug, *Corythucha ciliata*. *Entomol. Exp. Appl*., 141 (2): 168 – 177.

Ju RT, Xiao YY, Li B, 2011b. Rapid cold hardening increases cold and chilling tolerances more than acclimation in the adults of the sycamore lace bug, *Corythucha ciliata* (Say) (Hemiptera: Tingidae). *J. Insect Physiol*., 57(11): 1577 – 1582.

Ju RT, Gao L, Zhou XH, Li B, 2013. Tolerance to high temperature extremes in an invasive lace bug, *Corythucha ciliata* (Hemiptera: Tingidae), in subtropical China. *PLoS ONE*, 8(1): e54372.

Ju RT, Li B, 2010. Sycamore lace bug, *Corythucha ciliata*, an invasive alien pest rapidly spreading in urban China. *Biodivers. Sci*., 18 (6): 638 – 646. [鞠瑞亭, 李博, 2010. 悬铃木方翅网蝽: 一种正在迅速扩张的城市外来入侵害虫. 生物多样性, 18(6): 638 – 646]

Ju RT, Li YZ, Wang F, Du YZ, 2009. Spread of and damage by an exotic lacebug, *Corythucha ciliata* (Say, 1832) (Hemiptera: Tingidae), in China. *Entomol. News*, 120(4): 409 – 414.

Ju RT, Luo QQ, Gao L, Yang J, Li B, 2017. Identification of HSP70 gene in *Corythucha ciliata* and its expression profiles under laboratory and field thermal conditions. *Cell Stress Chaperon*., 23 (2): 1 – 7.

Ju RT, Wang F, Li B, 2010a. Leaf physiological responses in the London plane tree (*Platanus zcerifolia*) (Platanacese) to injury by the sycamore lace bug, *Corythucha ciliata* (Heteroptera: Tingidae). *Acta Entomol. Sin*., 53(9): 1009 – 1014. [鞠瑞亭, 王凤, 李博, 2010a. 悬铃木叶片对悬铃木方翅网蝽为害的生理响应. 昆虫学报, 53(9): 1009 – 1014]

Ju RT, Wei HP, Wang F, Zhou XH, Li B, 2014. Anaerobic respiration and antioxidant responses of *Corythucha ciliata* (Say) adults to heat-induced oxidative stress under laboratory and field conditions. *Cell Stress Chaperon*., 19(2): 255 – 262.

Ju RT, Xiao YY, Xue GS, Wang F, Li YZ, Du YZ, 2010b. Host range test of *Corythucha ciliata*. *Chin. Bull. Entomol*., 47(3): 558 – 562. [鞠瑞亭, 肖娱玉, 薛贵收, 王凤, 李跃忠, 杜予州, 2010b. 悬铃木方翅网蝽寄主范围的测定. 昆虫知识, 47(3): 558 – 562]

Ju RT, Zhu HY, Gao L, Zhou XH, Li B, 2015. Increases in both temperature means and extremes likely facilitate invasive herbivore outbreaks. *Sci. Rep*., 5: 15715.

Kment P, 2007. First record of the alien lace bug *Stephanitis pyrioides* in Greece and note on *Corythucha ciliata* from Portugal (Heteroptera: Tingidae). *Linzer Biol. Beitr*., 39: 421 – 429.

Korn KF, Farrier MH, Wright CG, 1983. Estimating egg and first-instar mortalities of the sycamore lace bug, *Corythucha ciliata* (Say). *J. Ga. Entomol. Soc*., 18: 27 – 37.

Kükedi E, 2000. On *Corytucha ciliata* (Say) (Heteroptera, Tingidae) and its spread. *Növényvédelem*, 36(6): 313 – 317.

Kuwahara Y, Kawai A, Shimizu N, Tokumaru S, Ueyama H, 2011. Geraniol, *E*-3, 7-dimethyl-2, 6-octadien-1-ol, as the alarm pheromone of the sycamore lace bug *Corythucha ciliata* (Say). *J. Chem. Ecol*., 37(11): 1211 – 1215.

Li CR, Xia WS, Wang FL, 2007. First records of *Corythucha ciliata* (Say) in China (Hemiptera, Tingidae). *Acta Zootaxon. Sin*., 32 (4): 944 – 946. [李传仁, 夏文胜, 王福莲, 2007. 悬铃木方翅网蝽在中国的首次发现. 动物分类学报, 32(4): 944 – 946]

Li FQ, Wang R, Qu C, Fu NN, Luo C, Xu YH, 2016. Sequencing and characterization of the invasive sycamore lace bug *Corythucha ciliata* (Hemiptera: Tingidae) transcriptome. *PLoS ONE*, 11 (8): e0160609.

Li FQ, Fu NN, Li D, Chang HT, Qu C, Wang R, Xu YH, Luo C, 2018. Identification of an alarm pheromone-binding chemosensory protein from the invasive sycamore lace bug *Corythucha ciliata* (Say). *Front. Physiol*., 9: 354.

Li FQ, Fu NN, Qu C, Wang R, Xu YH, Luo C, 2017. Understanding the mechanisms of dormancy in an invasive alien sycamore lace bug, *Corythucha ciliata* through transcript and metabolite profiling. *Sci. Rep*., 7(1): 2631.

Li FQ, Yang SY, Fu NN, Qu C, Liu J, Wang R, Xu YH, Luo C, 2017. Volatile profiles of *Platanus acerifolia* leaves and their behavioral effects on *Corythucha ciliata* (Hemiptera: Tingidae). *Chin. J. Appl. Entomol*., 54(2): 207 – 213. [李峰奇, 杨世勇, 付宁宁, 渠成, 刘佳, 王然, 许奕华, 罗晨, 2017. 二球悬铃木叶片挥发物与悬铃木方翅网蝽的相互作用研究. 应用昆虫学报, 54(2): 207 – 213]

Li XY, Gong LL, Jing WX, Wang XY, Lin YF, Gu K, Qu AJ, 2014. The field efficacy trials of several insecticides against *Corythucha ciliata*. *Pest. Sci. Admin*., 35(3): 58 – 60. [李新扬, 公玲玲, 井维霞, 王馨仪, 林永芳, 顾珂, 曲爱军, 2014. 几种杀虫剂对方翅网蝽的田间药效试验. 农药科学与管理, 35(3): 58 – 60]

Liu C, Li P, Zhou Y, Li CR, Zhou W, Xia WS, 2011. Study on effects and residue effects of root-irrigating and trunk-injecting of imidacloprid and acephate for control of *Corythucha ciliata* (Say). *Hubei Agric. Sci*., 50(14): 2877 – 2879. [刘超, 李鹏, 周扬, 李传仁, 周巍, 夏文胜, 2011. 吡虫啉, 乙酰甲胺磷灌根和注干防治悬铃木方翅网蝽效果及残留研究. 湖北农业科学, 50(14):

2877 – 2879］

Liu C, Xia WS, Li CR, Xu C, 2010. Insecticide efficacy testing of several insecticides on *Corythucha ciliata*. *Agrochemicals*, 49(6): 1652 – 1658.［刘超，夏文胜，李传仁，徐琛，2010. 几种药剂防治悬铃木方翅网蝽的田间药效试验. 农药，49(6)：1652 – 1658］

Lusby WR, Oliver JE, Neal JWJr, Heath RR, 1987. Isolation and identification of the major component of setal exudate from *Corythucha ciliata*. *J. Nat. Prod.*, 50(6): 1126 – 1130.

Ma LS, Kang DS, Zhang Y, Xu HY, Sun XJ, 2014. Study on DDVP smoking agent for controlling *Corythucha ciliata*. *Mod. Horticult.*, 23: 84.［马来顺，康德生，张莹，徐红彦，孙新杰，2014. “敌敌畏”烟剂防治悬铃木方翅网蝽效果试验. 现代园艺，23：84］

Maceljski M, 1986. Current status of *Corythuca ciliata* in Europe. *EPPO Bull.*, 16(4): 621 – 624.

Maceljski M, Balarin I, 1972. Preliminary note on the appearance of a new species of insect pest in Yugoslavia the bug *Corythuca ciliata* (Say) (Tingidae, Heteroptera). *Acta Entomol. Jugosl.*, 8(1/2): 105 – 106.

Maceljski M, Balarin I, 1977. Contribution to knowledge of the natural enemies of the sycamore lace bug (*Corythucha ciliata* (Say), Tingidae, Heteroptera). *Anz. Sch. Pfl. Umw.*, 50: 135 – 138.

Maceljski M, Balarin I, 1978. Studies on the natural enemies of the sycamore lace bug (*Corythuca ciliata*) (Tingidae, Heteroptera). *Anz. Sch. Pfl. Umw.*, 5: 135 – 138.

Malumphy C, Reid S, 2006. First British record of *Corythucha ciliata* (Say), Tingidae. *Het. News*, 8: 8.

Malumphy C, Reid S, Eyre D, 2007. The platanus lace bug, *Corythucha ciliata* (Say) (Hemiptera: Tingidae), a nearctic pest of plane trees, new to Britain. *Br. J. Entomol. Nat. His.*, 20(4): 233 – 240.

Mutun S, 2009. *Corythucha ciliata*, a new *Platanus* pest in Turkey. *Phytoparasitica*, 37(1): 65 – 66.

Nikusch I, 1992. *Corythuca ciliata* (Say) and *Graphocephala coccinea* (Forster), two new spreading out problematic pests in public green spaces in Germany. *Ges. Pfl.*, 44(9): 311 – 315.

Oszi B, Lanányi M, Hufnagel L, 2005. Population dynamics of the sycamore lace bug in Hungary. *Appl. Ecol. Environ. Res.*, 4: 135 – 150.

Ozino O, Zeppa G, 1987. Effect of entomopathogenic fungus inoculum on the control of *Corythycha ciliata* (Say) adults, wintering on plane-trees of city groves. *Gior. Batt., Virol. Imm.*, 81(1 – 12): 32 – 39.

Picker M, Griffiths C, 2015. Sycamore tree lace bug (*Corythucha ciliata* Say) (Hemiptera: Tingidae) reaches Africa: short communication. *Afr. Entomol.*, 23(1): 247 – 249.

Prado C, 1990. Presencia en Chile de *Corythucha ciliata* (Say) (Hemiptera: Heteroptera: Tingidae). *Rev. Chil. Entomol.*, 18: 53 – 55.

Rojht H, Meško A, Vidrih M, Trdan S, 2009. Insecticidal activity of four different substances against larvae and adults of sycamore lace bug (*Corythucha ciliata* (Say), Heteroptera, Tingidae). *Acta Agric. Sloven.*, 93(1): 31 – 36.

Sevim A, Demir I, Nmez E, Kocaçevik S, Demirbağ Z, 2013. Evaluation of entomopathogenic fungi against the sycamore lace bug, *Corythucha ciliata* (Say) (Hemiptera: Tingidae). *Turk. J. Agric. For.*, 37(5): 595 – 603.

Shapiro-Ilan DI, Mizell RF, 2012. Laboratory virulence of entomopathogenic nematodes to two ornamental plant pests, *Corythucha ciliata* (Hemiptera: Tingidae) and *Stethobaris nemesis* (Coleoptera: Curculionidae). *Fla. Entomol.*, 95(4): 922 – 927.

Stehl KJ, 1997. *Corythucha ciliata* (Say), a pest of plane trees, now also in the Czech Republic (Tingidae, Het.). *Acta Musei Moraviae, Sci. Nat.*, 81: 299 – 306.

Streito JC, 2006. Note sur quelques espèces envahissantes de Tingidae: *Corythucha ciliata* (Say, 1932), *Stephanitis pyrioides* (Scott, 1874) et *Stephanitis takeyai* Drake & Maa, 1955 (Hemiptera Tingidae). *L'Entomologiste*, 62(1 – 2): 31 – 36.

Tatu A, Tausan I, 2011. *Corythucha ciliata* (Say, 1832) (Hemiptera: Tingidae) – second record for the lace bug fauna of Romania. *Brukenthal. Acta Musei.*, 6(3): 453 – 458.

Tavella L, Arzone A, 1987. Investigations on natural enemies of *Corythucha ciliata* (Say) (Rhynchota, Heteroptera). *Redia*, 70: 443 – 457.

Tiberi R, Panconesi A, 1985. Possibilities offered by the injection method for the control of *Corythucha ciliata* (Say) and *Gnomonia platani* (Kleb.). *Redia*, 68: 239 – 249.

Tokihiro G, Tanaka K, Kondo K, 2003. Occurrence of the sycamore lace bug, *Corythucha ciliata* (Say) (Heteroptera: Tingidae) in Japan. *Res. Bull. Plant Prot. Ser., Japan*, 39: 85 – 87.

Tzanakakis M, 1988. First records of the sycamore lace bug, *Corythucha ciliata* (Say) in Greece. *Entomol. Hell.*, 6: 55 – 57.

Vasic M, 1975. Control of *Corythucha ciliata* on *Platanus* spp. in avenues and parks in Belgrade. *Sumarstvo*, 28: 59 – 64.

Venturi F, 1974. A new threat to our plane trees: the American lace bug *Corythucha ciliata* (Say). *Frus. Entomol.*, 12: 9.

Verfaille T, Piron M, Gutleben C, Hecker C, Maury-Roberti A, Chapin E, Clément A, Jaloux B, 2012. A biocontrol strategy of the sycamore lace bug *Corythucha ciliata* (Say) (Hemiptera: Tingidae) in Urban areas. *Acta Hort.*, 1099: 375 – 382.

Voigt K, 2001. The first Russian record of *Corythucha ciliata* (Say) from Krasnodar (Heteroptera: Tingidae). *Zoos. Ross.*, 10(1): 76.

Wade O, 1917. The Sycamore Lace Bug (*Corythucha ciliata*, Say). Oklahoma Agricultural Experiment Station Bulletin, No. 116.

Wang FL, Li CR, Liu WX, Wan FH, 2008. Advance in biological characteristics and control techniques of the new invasive sycamore lace bug (*Corythucha ciliata*). *Sci. Silv. Sin.*, 44(6): 137 – 142.［王福莲，李传仁，刘万学，万方浩，2008. 新入侵物种悬铃木方翅网蝽的生物学特性与防治技术研究进展. 林业科学，44(6)：137 – 142］

Wang ML, Sun XJ, Fan PL, Zhang Z, Xue ZY, Liang LL, 2010. Study on acetamiprid for controlling *Corythucha ciliata* by using light helicopter. *Mod. Agric. Sci. Technol.*, (14): 141 – 141.［王梅林，孙新杰，范培林，张政，薛照宇，梁林丽，2010. 轻型直升

飞机喷洒啶虫脒防治悬铃木方翅网蝽试验研究. 现代农业科技, (14): 141 – 141]

Wu H, Liu H, 2016. Movement behavior and host location ability of *Corythucha ciliata*. *PLoS ONE*, 11(3): e0152205.

Wu HW, Li XC, Liu HX, 2016. Starvation resistance of invasive lace bug *Corythucha ciliata* (Hemiptera: Tingidae) in China. *Entomol. Fenn.*, 4: 108 – 110.

Wu X, Zhu XL, Wang Z, Hu HY, 2010. Investigation on the location of overwintering *Corythucha ciliata* on the plane tree. *J. Anhui Norm. Univ.* (*Nat. Sci.*), 33(5): 475 – 478. [吴翔, 朱小力, 王志, 胡好远, 2010. 悬铃木方翅网蝽越冬状况调查. 安徽师范大学学报(自然科学版), 33(5): 475 – 478]

Xia WS, Liu C, Hu ZL, Dong LK, Ou KF, 2011. The relationships between the wintering and reviving of *Corythucha ciliata* (Say) and temperature. *Hubei Agric. Sci.*, 50(16): 3290 – 3293. [夏文胜, 刘超, 胡泽龙, 董立坤, 欧克芳, 2011. 悬铃木方翅网蝽越冬、始发与温度的关系. 湖北农业科学, 50(16): 3290 – 3293]

Yang WY, Tang XT, Cai L, Dong CS, Du YZ, 2014. Isolation and characterization of nine microsatellite loci from the sycamore lace bug *Corythucha ciliata* (Hemiptera: Tingidae). *Fla. Entomol.*, 97(3): 1070 – 1074.

Yang WY, Tang XT, Ju RT, Zhang Y, Du YZ, 2017. The population genetic structure of *Corythucha ciliata* (Say) (Hemiptera: Tingidae) provides insights into its distribution and invasiveness. *Sci. Rep.*, 7(1): 635.

Yang WY, Yu WW, Du YZ, 2013. The complete mitochondrial genome of the sycamore lace bug *Corythucha ciliata* (Hemiptera: Tingidae). *Gene*, 532(1): 27 – 40.

Yu GY, 2014. *Corythucha marmorata*. *Plant Prot.*, 40(5): 7. [虞国跃, 2014. 菊方翅网蝽. 植物保护, 40(5): 7]

Yu GY, Wang H, Zhu XQ, Feng SK, Lu XL, 2014. The first discovery of the sycamore lace bug *Corythucha ciliata* in Beijing, China. *Plant Prot.*, 40(5): 200 – 202. [虞国跃, 王合, 朱晓清, 冯术快, 卢绪利, 2014. 北京发现悬铃木方翅网蝽为害. 植物保护, 40(5): 200 – 202]

Zaitsev V, Polozov G, Lakhvich F, 1994. Synthesis of 2-acyl-4-hydroxycyclohexane-1, 3-diones – Kairomones and protective substances of some insects. *Chem. Nat. Compd.*, 30(2): 180 – 185.

Zechini D'Aulerio A, Marchetti L, Valle ED, Giovanni GD, Badiali G, Boselli M, Lodi M, 1990. Simultaneous control on plane trees of *Gnomonia platani* (Kleb.) and *Corythucha ciliata* (Say) by injection of pesticides into the trunk. *Inf. Fit.*, 40(5): 59 – 63.

Zhang H, Wang K, Wang SS, Sun XJ, Zhang H, Xu HY, 2014. Efficiency of high penetrable fenoxycarb to control *Corythucha ciliata* by *Platanus* trunk injection. *Mod. Horticult.*, 17: 112 – 112. [张华, 王克, 王珊珊, 孙新杰, 张恒, 徐红彦, 2014. 悬铃木干部注射高渗苯氧威防治方翅网蝽效果试验. 现代园艺, 17: 112 – 112]

Zhang HD, Yang SZ, 1979. Flora of China, Vol. 35. Platanaceae. Science Press, Beijing. [张宏达, 颜素珠, 1979. 中国植物志, 第35卷. 悬铃木科. 北京: 科学出版社]

Zhu GP, Wang XJ, Liu GQ, Bu WJ, 2013. Potential distribution of sycamore lace bug, *Corythucha ciliate* in China (Hemiptera: Tingidae). *Chin. J. Appl. Entomol.*, 49(6): 1652 – 1658. [朱耿平, 王晓静, 刘国卿, 卜文俊, 2013. 悬铃木方翅网蝽在我国的潜在分布分析. 应用昆虫学报, 49(6): 1652 – 1658]

(责任编辑: 赵利辉)